

1. まえがき 弾塑性有限変位解析プログラムを用いて弾性・弾塑性有限変位解析を行った場合、初期たわみ形状と終局限界状態付近における座屈モードとが異なると、分岐座屈問題となり解が発散することがある。この問題を解決するには、一般に、固有値解析によって得られた弾性座屈モードを基に、初期たわみ形状を決定すれば、解を適切な釣り合い経路へと誘導することができる。しかし、この方法によっても、弾性・弾塑性有限変位解析の場合、この最低次の固有モードと終局限界状態付近における座屈モードとが一致しない場合も起こり得るため、必ずしも適切な釣り合い経路へ誘導されるという保証はない。

そこで、本研究では、終局限界状態付近における座屈モードを、固有値解析を行わずに、野口・久田による“Scaled Corrector”を用いた分岐座屈解析手法¹⁾を用いて近似的に求めることの有効性を、弾塑性有限変位解析プログラム EPASS²⁾を用いて確認している。

2. 解析モデル 図-1 に示す 2 ヒンジ・アーチについて、弾性および弾塑性有限変位解析を行った。

初期たわみ形状としては、図-2(a) および(b)に示すような対称モードおよび逆対称モードを設定した。なお、考慮する荷重は、図-1(a)に示す対称荷重のみとし、各節点ごとに鉛直下向きに载荷した。また、材料定数は、以下のとおりとした。すなわち、ポアソン比 $\mu=0.3$ 、ヤング係数 $E=2.06 \times 10^5 (\text{N/mm}^2)$ 、および降伏点 $\sigma_y=387.6 (\text{N/mm}^2)$ 。

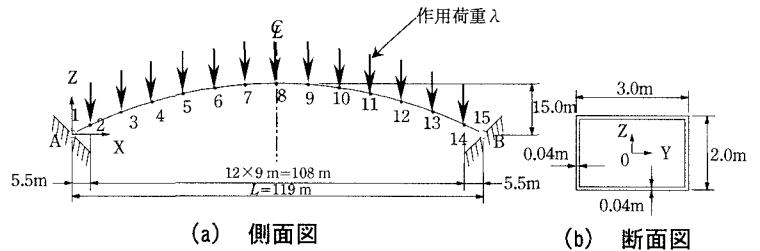


図-1 解析モデル

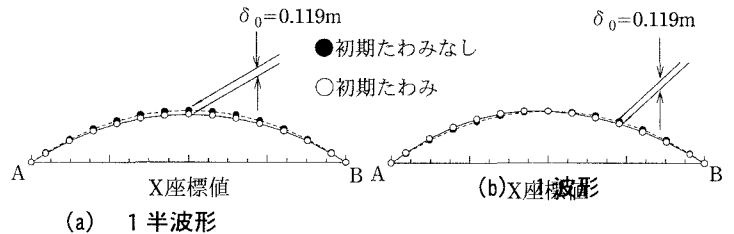


図-2 初期たわみ形状

3. 通常の弾性・弾塑性有限変位解析 荷重-鉛直変位曲線を図-3 および図-4 に示す。これらの図から、1 波形の初期たわみを考慮した場合は、弾性・弾塑性どちらの場合においても、スムーズに解を適切な釣り

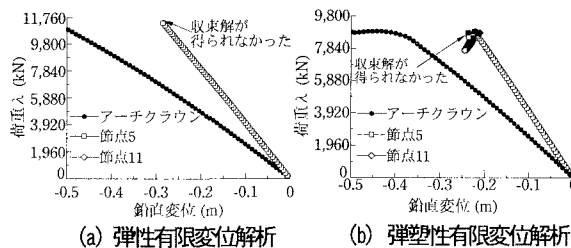


図-3 1 半波形の初期たわみの場合

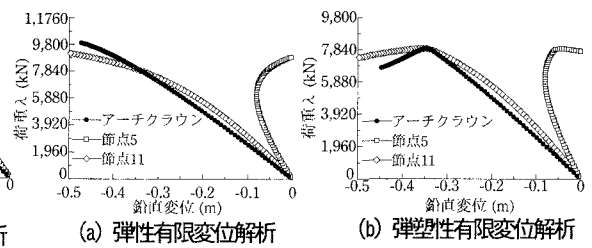


図-4 1 波形の初期たわみの場合

合い経路へと誘導できていることがわかる。しかし、1 半波形の初期たわみ形状を導入した場合、弾性有限変位解析では、図-3(a)に示すように、収束解が得られなかった。一方、弾塑性有限変位解析の場合、図-3(b)に示すように、収束解が得られているものの、図-4(b)の解析結果と比較すると、適切な解が得られていないことがわかる。

4. 終局限界状態付近における座屈モードを考慮した弾性・弾塑性有限変位解析 文献 1)の分岐座屈解析手法は、座屈点における固有方程式と解が発散する直前のニュートン・ラフソン法による釣り合い方程式との類似性を利用し、固有値解析を行うことなく、解が発散する直前の増分変位ベクトルを適切にスケーリングすることで、終局限界状態付近における座屈モードを近似的に求める方法である。この分岐座屈解析手法に従って、対象解析モデルにおいて、解が発散する直前の座屈モードを近似的に求めると、弾性有限変位解析の場合、その波形は、図-6(a)に示すように、対称形から逆対称形に移していることがわかる。この波形（図-6(a)の波形①）は、図-5 に示される固有値解析で得られた 1 次の座屈モードとほぼ一致しているといえる。一方、弾塑性有限変位解析の場合、図-7(b)に示すように、対称形の成分を含んだ逆対称形の近似座屈モード（波形②）が得られていることがわかる。この座屈モードを最大値 0.119m の初期たわみ形状として、図-2(a)の初期たわみに追加し、再計算した結果を図-7 に示す。弾性有限変位解析の場合は、図-4(a)とほぼ同じ解析結果が得られた。一方、弾塑性有限変位解析の場合、図-7(a)に示すように、その解析結果は、図-4(b)のものと若干異なっている。そこで、初期たわみを追加した解析モデルに対して、再度、文献 1)の方法に従って、近似座屈モード(図-7(a)の波形①に類似)を求め、初期たわみ形状を変更し、弾塑性有限変位解析を行った。その結果を図-7(b)に示す。この解析結果は、同図(a)の解析結果と比べて、図-4(b)の解析結果に、より一致していることがわかる。しかし、まだ若干の差異があるのは、初期たわみ波形による。そこで、再々計算により得られた近似座屈モードに相似の初期たわみ波形のみを用いて弾塑性有限変位解析を行うと、その結果は、図-4(b)のものと良好に一致した。

5. まとめ “Scaled Corrector”を用いた分岐座屈解析手法を用いて近似的に得られた座屈モードを用いることで、解を適切な釣り合い経路へと誘導できることがわかった。今後は、実橋モデルを対象に、本法の妥当性を検討する必要があると考えられる。

参考文献 1) 野口裕久・久田俊明：ScaledCorrector を用いた有限要素分岐解析手法の開発、日本機械学会論文集（A 編）58 巻 555 号、論文 No.92-0196、pp.181～188、1992 年 11 月。

2) 北田俊行・大南亮一・丹生光則・田中克弘：ケーブルを用いた鋼橋の耐荷力解析用の汎用プログラム開発、構造工学における数値解析法シンポジウム論文集、Vol.13、日本鋼構造協会、pp.89～94、1989 年 7 月。

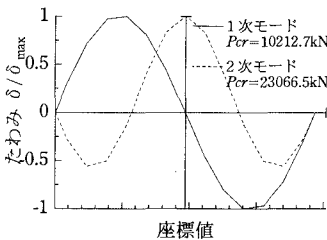


図-5 固有値解析による座屈モード

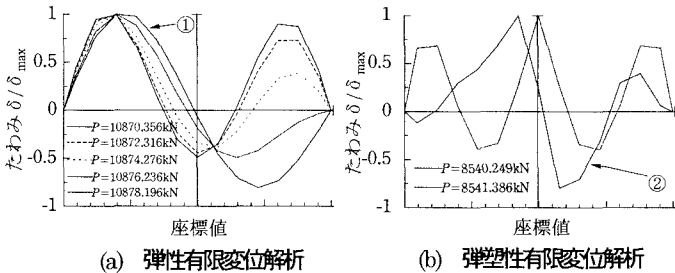


図-6 解が発散する直前のたわみの推移

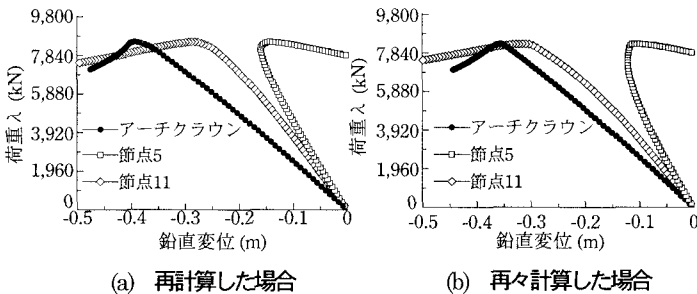


図-7 近似的に得られた座屈モードを追加・再計算した結果